УДК 662.767.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.37.4>

Карпушин С.О.

к.т.н., доцент,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Дарієнко В.В.

к.т.н., доцент,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Кузик О.В.

к.т.н., доцент,

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Пантилієнко В.В.

к.т.н., доцент,

ДВНЗ Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, м. Дніпро

Карпушин А.С.

студент групи БД-25,

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ АНАЕРОБНОГО БІОРЕАКТОРА З ҐРУНТОЦЕМЕНТУ

Анотація. Анаеробний біореактор для виробництва біогазу і органічного субстрату – це пристрій, що являє собою замкнену ємність, куди подають біологічні відходи, витримують їх без доступу повітря при заданій стабільній температурі (від +25 до +55°C) і перемішують. У результаті метаногенезу отримують біогаз та органічний субстрат, що використовують як добриво в сільському, фермерському господарстві. Вихідною сировиною для роботи біореактора є біологічні відходи.

У статті описано власну конструкцію анаеробного біореактора для виробництва біогазу та органічного субстрату. Основна увага приділена розробці методики проектування анаеробного біореактора з ґрунтоцементу як конструктивного матеріалу. Наведено методику визначення необхідного об'єму біореактора залежно від виду та/або кількості органічних відходів. Виділені та проаналізовані фактори, що впливають на вирішення оптимізаційної задачі, – вибір співвідношення діаметра ферментатора і його висоти. Наведено рекомендації щодо врахування кліматичних навантажень, з урахуванням розташування найближчих метеостанцій та розроблена структурно-логічна схема проектування біореактора.

Розглянута можливість застосування модифікованого ґрунтоцементу ферментним препаратом «Дорзин» у найбільш оптимальній кількості, що дорівнює 0,05%, що має покращити гідратаційні процеси, значно знизити усадку ґрунтоцементу, зменшити тріщиноутворення. Розроблена і представлена технологічна послідовність виконання бурозмішувальних робіт із влаштування суцільної монолітної ґрунтоцементної конструкції ферментатора біореактора. Проаналізовані нетехнологічні моменти влаштування донної частини ферментатора, наведені перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: свердловина, технологія, монолітна конструкція, біореактор, бурозмішувальні роботи, ферментатор, біологічні відходи, ґрунт, ґрунтоцемент, цемент, армування, кліматичні параметри, модифікатор.

Постановка проблеми. В умовах постійного здорожчання енергоносіїв та погіршення екологічної ситуації в усьому світі дедалі більше уваги приділяється альтернативним джерелам енергозабезпечення. З огляду на географічне положення України, суттєвий відсоток земель сільськогосподарського призначення та, як наслідок, наявність великих обсягів біологічних відходів (гній корів, свиней, коней, курей, бадилля картопляне, стебла кукурудзи, солома пшенична, буряк, лузга соняшникова, силос, трава свіжа, відходи моркви, тирса деревини, фекальний осад, тверді побутові відходи (ТПВ)) перспективним є застосування сучасних біотехнологій.

Біогазові реактори в Україні не набули значного поширення у зв'язку з їх значною вартістю, примхливістю технології метанового бродіння, значним енергоспоживанням [1–4]. Недоліками відомих конструкцій ферментаторів є їх порівняно висока вартість і нетехнологічність влаштування бетонної конструкції складної криволінійної форми, яка б забезпечувала найкращі умови термоізоляції, перемішування, руйнування поверхневої кірки субстрату, забезпечення максимальної площі для виходу біогазу із субстрату, періодичного виймання твердого осаду та технічного обслуговування. Також суттєвим недоліком є недостатня довговічність ферментатора, зумовлена корозійною нестабільністю.

Аналіз останніх досліджень. Анаеробний біореактор для виробництва біогазу і органічного субстрату це пристрій, що представляє собою замкнену ємність, куди подають біологічні відходи, витримують їх без доступу повітря при заданій стабільній температурі (від +25 до +55°C) і перемішують. У результаті метаногенезу отримують біогаз та екологічно-безпечний органічний субстрат, що випадає як твердий осад, який можна застосовувати як органічне добриво в сільському господарстві. Як матеріал для корпусу біореактора традиційно застосовують бетон, метал, полімери.

Варіантом вирішення проблеми зі зниження вартості біореактора за умов одночасного забезпечення корозійної стійкості ферментатора є застосування як матеріалу дна і стінок – ґрунтоцементу [5].

Передумовами застосування ґрунтоцементу для влаштування корпусу біореактора-ферментатора є [6–8]:

- позитивний досвід використання ґрунтоцементу як матеріалу для будівництва шламових відстійників для токсичних відходів;
- висока водонепроникність W12-14;
- низька вартість виготовлення через використання природного ґрунту з котловану;
- висока міцність на стиск, 2 МПа;
- стійкість до агресивних складників (хімічна стійкість);
- довговічність, термін використання більш ніж 300 років;
- ґрунтоцемент екологічно безпечний;
- морозостійкість у межах М25;
- ґрунтоцемент має здатність до набору міцності з часом.

Мета роботи. 1. Запропонувати нову, енергоощадну та технологічну, з точки зору зручності експлуатації в умовах України, конструкцію анаеробного біореактора шляхом застосування як конструктивного матеріалу – ґрунтоцементу, модифікованого ґрунтоцементу.

2. Розробити структурно-логічну схему проектування корпусу біореактора з ґрунтоцементу.

3. Розробити технологічний процес будівництва ферментатора біореактора з ґрунтоцементу, використавши бурозмішувальну технологію.

Результати досліджень. Пропонована конструкція біореактора [5] належить до технології одержання біогазу шляхом анаеробного розкладу різних біологічних відходів (тваринництва, птахівництва, рослинництва, підприємств харчової промисловості, ТПВ, стічних вод) і може знайти застосування в сільському господарстві, на підприємствах харчової промисловості, міських звалищах ТПВ, станціях очистки стічних вод, підприємствах із виготовлення органічних добрив, наприклад мульчі, субстрату.

Метою пропонованої конструкції біореактора є вдосконалення анаеробного біореактора, ферментатора-газгольдера, в якому шляхом влаштування цільного і монолітного корпусу з ґрунтоцементу підвищується надійність та довговічність роботи біореактора, його герметичність, суттєво знижуються вартість і термін зведення за умов раціонального використання природних ресурсів.

На рис. 1 зображено вид зверху біореакторної установки, що складається із завантажувально-насосного вузла та безпосередньо самого біореактора, де 1 – приймальна ємність

для відходів біологічного походження, 2 – насос, 3 – ємність-дозатор. Ємності 1 і 3 утворені стінками і дном із ґрунтоцементу.

Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату складається з корпусу 4 циліндричної в плані форми (див. рис. 1) із трьома внутрішніми вертикальними перегородками 5, що розташовані одна стосовно іншої під кутом 120° та утворюють три камери для анаеробного бродіння, відповідно 6, 7 і 8. За межами біореактора розташований збірник зброженої маси 9 утворений стінками і дном із ґрунтоцементу. Корпус циліндричної форми 4, три внутрішні перегородки 5 та спільне дно 10 (рис. 2) виконані в «монолітному» варіанті – як одне ціле з ґрунтоцементу. На поверхні внутрішніх перегородок 5 передбачено теплообмінники 11 з полімерної труби з під'єднанням до теплового насосу (на рисунку не показано). У бродильній камері 6 посередництвом траверси 12 встановлено змішувач біомаси, що включає гідродвигун 13, редуктор 14 з вертикально розташованим валом, у нижній частині якого закріплено короткобазовий одновитковий полий шнек 15, а у верхній частині закріплено трапецієвидний каркас із сітками 16 для руйнування поверхневої кірки. У перегородках 5 передбачено отвори для перепускних труб 17.

Накопичення газу та його початкове тимчасове зберігання відбувається в порожнині газгольдера 18, що утворена газовим ковпаком 19, який щільно та герметично встановлено в пази ґрунтоцементних стінок кор-

пусу 4. У верхній частині ковпака 19, який виготовлений із матеріалу темного кольору для додаткового нагрівання біореактора від сонячних променів, встановлено засоби контролю та автоматичного керування 20, а також вивідну газову трубку 21.

У нижній частині біореактора передбачена залізобетонна труба 22 із встановленим у неї, посередництвом підшипникових опор, довгобазовим шнеком 23 для виведення осаду (субстрату). При цьому поверхня дна 10 корпусу 4 біореактора в бродильних камерах 6, 7, 8 і збірнику зброженої маси 9 має внутрішні ухили до отворів із встановленими в них гідрозатворами 24, через які, періодично і у визначеній послідовності, осад (субстрат) потрапляє у внутрішню порожнину труби 22 зі шнеком 23.

Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату призначений для роботи, як безперервно, так і дискретно в будь-яку пору року.

Проектування біореактора. В залежності від вихідних умов (вид та добовий вихід біологічних відходів) розраховують внутрішній об'єм реактора.

Припустімо, господарство має 10 голів крупної рогатої худоби, 20 свиней і 35 курей. За добу вихід екскрементів становитиме 55 кг від 1 КРС, 4,5 кг від 1 свині, 0,17 кг від 1 курки. Маса добових відходів становить:

$$10 \times 55 + 20 \times 4,5 + 0,17 \times 35 = 550 + 90 + 5,95 = 645,95 \text{ кг.}$$

Рис. 1. Біореакторна установка (вид зверху) [5]

Оптимальна вологість сировини для завантаження в біореактор – 85%.

Вологість свіжих екскрементів свиней, корів становить 86%, а курячого посліду – 75%. Щоб довести вологість курячого посліду, до 85% треба додати близько 0,5 л води (близько 0,5 кг). Тоді добове завантаження реактора становить 646 кг.

Добове завантаження реактора приймається не більше 10% від його повного завантаження.

Тоді повне завантаження реактора:

$$= 10 \times 646 \text{ кг} = 6460 \text{ кг}, 6,5 \text{ т.}$$

Для свиногокомплексу для 5300 голів.

Маса добових відходів становитиме:

$$m = 5300 \times 4,5 = 23\,850 \text{ кг.}$$

Повне завантаження реактора:

$$m = 10 \times 23\,850 \text{ кг} = 238\,500 \text{ кг} = 238,5 \text{ т.}$$

За даними [9], об'ємна вага ρ свіжих свинячих екскрементів коливається в межах $\rho = 1013 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Об'єм реактора: } V = \frac{238500}{1200} = 198,75 \text{ м}^3$$

Результатом попередніх розрахунків є реактор із корисним об'ємом – 200 м³.

Залишаються відкритими питання співвідношення діаметру і глибини закладання в ґрунт майбутньої споруди. Взаємозв'язок між цими параметрами зумовлюється технологічними особливостями виходу біогазу,

умовами його перемішування, кліматичними параметрами – промерзання ґрунту (мінімізації витрат на підтримання необхідної температури для анаеробного процесу), технологічними й економічними параметрами влаштування корпусу біореактора буровим верстатом, геологічними та гідрогеологічними параметрами будівельного майданчика та ін. Це складна оптимізаційна задача.

Варто зауважити, що діаметр дна реактора є більшою частиною умовного фундаменту майбутньої споруди (рис. 3), а прийняте значення зовнішнього діаметру ємності має задовольняти умові $P_{ум} \leq R$ (друга група граничних станів, розрахунок виконується за класичними методиками). Прийняття мінімального значення зовнішнього діаметра корпусу реактора ґрунтується на розрахунках щодо проектування основ і фундаментів [10; 11] і залежить від ґрунтових, гідрогеологічних, кліматичних умов та навантажень від споруди і речовини в ній. Збільшення діаметра ємності позитивно впливатиме на зменшення тиску під спорудою $P_{ум}$, площу виходу газу та величину градієнта тиску рідини $grad p$, але призведе до збільшення зовнішнього периметру, що за наявності пучинистих ґрунтів у верхніх шарах, величини сезонного промерзання і когезивних зв'язків ґрунто-

Рис. 2. Розріз А-А біореактора з рис.1 [5]

цементу з навколишнім природним ґрунтом, провокує проблему. Мінімальними наслідками є виникнення додаткових внутрішніх нерівномірних напружень у тілі ґрунтоцементної ємності, що може призвести до втрати цілісності та герметичності. На будівельних майданчиках із пучинистими ґрунтами після влаштування ґрунтоцементної ємності доцільним є створення антифрикційних комірів на глибину сезонного промерзання, утеплення верхньої частини периметра, устрій вимощення та водовідведення.

Розміщення ємності реактора нижче рівня денної поверхні, застосування трьох радіально встановлених через 120° внутрішніх перегородок та заповнення внутрішньої порожнини ємності субстратом дають змогу мінімізувати навантаження на стінки та дно. В робочому і довготривалому положенні стінки та дно реактора сприймають пасивні тиски від субстрату $P_{\text{суб}}$ і зовнішнього природного ґрунту непорушеної структури $P_{\text{гр}}$, які в першому наближенні можна прийняти рівними. Товщина дна і стінок визначатиметься величиною коефіцієнта фільтрації, пасивним тиском на стінку в секторах між перегородками, технологічними можливостями бурозмішувального робочого обладнання для забезпечення суцільної та однорідної огорожувальної конструкції з ґрунтоцементу. Приймається значення, яке задовольняє всім умовам.

Головним критерієм при розрахунку товщини дна і стінок ємності реактора є вели-

чина фільтрації води із субстрату, що приймається рівною нулю. За основу може бути прийнята відома формула А. Дарсі: $q = k_{\text{ф}} \frac{\Delta H}{\Delta l} F$, що з урахуванням коефіцієнта проникності для різних речовин k (П.Г. Нуттінг) $k = d_{\text{еф}}^2 Sl(m, \epsilon)$ прийме вигляд: $v = \frac{k}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta l}$ та представлятиме собою рівняння Л.С. Лейбензона:

$$v = \frac{d_{\text{еф}}^2 Sl(m, \epsilon)}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta l},$$

де $d_{\text{еф}}$ – ефективний діаметр частинок (діаметр частинок еквівалентного фіктивного ґрунту, гідравлічний опір якого дорівнює гідравлічному опору реальної породи); $Sl(m, \epsilon)$ – число Сліхтера (безрозмірне) як функція коефіцієнта пористості m і структури порового простору ϵ (під структурою порового простору розуміють форму і розмір окремих пор, їх кількісне співвідношення і сполучуваність); μ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини.

Встановлення кліматичних параметрів у процесі проектування майбутнього біореактора може бути здійснено за запропонованою методикою [12] визначення кліматичних навантажень у заданій географічній точці за даними локальної мережі метеостанцій (рис. 4).

Рівняння площини, яка відображає зміни кліматичного фактору Z в околі проектної точки, можна записати у вигляді:

$$Z = A + B \cdot X + C \cdot Y,$$

Рис. 3. Схема передачі тиску на ґрунт основи за рахунок опору ґрунту по бокових поверхнях і під дном ферментатора

Рис. 4. Мережа метеостанцій регіону [12]

де X , Y – координати метеостанції чи проектної точки; A , B , C – параметри, визначені за даними мережі метеостанцій.

Параметри A , B , C визначаються методом найменших квадратів за даними усіх метеостанцій з околу проектної точки, що може бути реалізовано в середовищі будь-якого обчислювального комплексу, зокрема Microsoft Excel. Координати метеостанцій та проектної точки X , Y можуть задаватися у вигляді прямокутних координат у кілометрах стосовно умовно обраного центра, або значеннями довготи й широти місцевості в градусах, опублікованими в метеорологічних довідниках, визначеними за допомогою Google Maps чи інших картографічних систем.

Геологічні параметри будівельного майданчика. В ідеалі, ґрунт для влаштування дна і стінок ґрунтоцементної ємності повинен мати мінімум 25–30% когезивних колоїдних частинок (що проходять крізь сито з розміром осередків 0,07 мм) і містити мінімум великих таких гранульованих часток, як гравій. Тобто це має бути глинистий або пилуватий ґрунт: глина, або суглинок. Модифікація ґрунтоцементу введенням ферментного препарату «Дорзин» [13] в найбільш оптимальній кількості, що дорівнює 0,05%, покращує гідратаційні процеси, значно знижує усадку ґрунтоцементу, зменшує тріщиноутворення, підвищує морозостійкість. Відомий позитивний досвід використання ферментного модифікатора для глинистих ґрунтів «Дорзин» у дорожньому будівництві.

Ферментний препарат «Дорзин» є композицією речовин, що в основному утворили-

ся в процесі культивування мікроорганізмів (дріжджів роду *Saccharomyces*) на комплексному живильному середовищі з деякими добавками. Основою живильного середовища є бурякова меласа.

Розроблена та представлена на рис. 5 структурно-логічна блок-схема проектування біореактора з ґрунтоцементу.

Виконання бурозмішувальних робіт може бути здійснено буровим верстатом БМ-811м на базі автомобіля УРАЛ [14]. Циліндрична в плані споруда є нетехнологічною з точки зору зручності, точності позиціонування бурозмішувального робочого органу та переміщення бурового верстату. Виходом із положення може бути прийнята лінійна схема зворотно-поступального руху бурового верстату, що представлена на рис. 6. При цьому треба влаштувати 682 свердловини глибиною 4,0 м, діаметром 0,5 м із відстанню між сусідніми свердловинами 0,4 м. Основними лініями показані свердловини, де ін'єктування цементу відбувається по всій глибині свердловини, допоміжними – на величину товщини днища реактора в 0,9 м. Роботи з армування ґрунту виконуються в три зміни протягом 10 днів. Середня тривалість влаштування однієї свердловини – близько 25 хв. Як нормативне джерело застосовано документ РФ «Свод правил СП 291.1325800.2017 Конструкции ґрунтоцементные армированные, правила проектирования» [15]. Витрата цементу коливається в межах 500–700 кг/м³ та залежить від типу та гранулометричного складу ґрунту. Набір міцності ґрунтоцементу до проектного значення триває 28 діб, після чого екскаватором з обладнанням «зворотня лопата» або грейферним обладнанням виконують виймання ґрунту з трьох камер та виконують ручну підчистку. Загальна тривалість робіт – 40 днів.

Суттєвим недоліком запропонованої технології влаштування монолітної ґрунтоцементної скляно-подібної конструкції ферментатора є висока трудомісткість та, відповідно, тривалість і вартість бурозмішувальних робіт. Нераціональним є влаштування дна цієї конструкції. Це 380 свердловин для влаштування дна, що становить близько 54–56% від їх загальної необхідної кількості. За таких відсоткових показників варто розглянути та виконати техніко-економічні розрахунки щодо доцільності застосування технології jet-grouting (jet-3), або комбінації способів

Рис. 5. Структурно-логічна блок-схема проектування біореактора з ґрунтоцементу

Рис. 6. Технологічна послідовність виконання бурозмішувальних робіт

і технології. Комбінація способів полягатиме у влаштуванні стінок та перегородок майбутнього ферментатора за бурозмішувальною технологією – це 302 свердловини, з паралельним влаштуванням шпунтової огорожі периметру внутрішніх камер, позахватковою виїмкою з них ґрунту до проектної позначки грейферним обладнанням, приготуванням ґрунтоцементної суміші для дна в ґрунтозмішувачах і вкладання її з одночасною виїмкою шпунтової огорожі. Роботи з виїмки ґрунту з майбутніх бродильних камер та влаштування дна мають бути виконані в якомога коротші терміни для утворення суцільної монолітної конструкції.

Висновки. 1. Запропонована та логічно обґрунтована доцільність застосування ґрунтоцементу для влаштування ферментатора анаеробного біореактора з виробництва біогазу й органічного субстрату.

2. Представлена нова, енергоефективна і компактна конструкція анаеробного біореактора, що поєднує в собі такі ефекти: максимальна площа поверхні для виходу газу; забезпечення умов для механічного перемішування (раціональна форма камер бродіння без глухих кутів); мінімальні енергозатрати на підігрів (мінімальна довжина зовнішньо-

го периметра), можливість централізованого виводу осаду з усіх камер бродіння.

3. Застосування запропонованої конструкції біореактора дасть змогу вирішити низку істотних проблем: раціональне використання природних, у тому числі відновлюваних джерел енергії; екологічна утилізація продуктів життєдіяльності; раціональне використання природних ресурсів для будівництва; отримання екологічно чистих добрив для агрокомплексу.

4. Розроблена структурно-логічна блок-схема проектування біореактора із ґрунтоцементу. Вихідними даними є вид біологічних відходів та добова кількість відходів в одиницях маси і об'єму.

5. Розроблена методика проектування біореактора для умов конкретного підприємства в цих інженерно-геологічних і кліматичних умовах.

6. Розроблено рекомендації щодо технологічної послідовності влаштування ферментатора з ґрунтоцементних циліндричних елементів за бурозмішувальною технологією.

7. Перспективним є встановлення доцільності застосування ґрунтоцементу для влаштування стінок та дна штучних водойм та як окремих фундаментів для сонячних батарей.

Література

1. Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://sae.gov.ua/uk/bioenergy>.
2. Ратушняк Г.С. Енергозберігаючі відновлювальні джерела теплопостачання : Навчальний посібник / Джеджула В.В., Анохіна К.В. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2010. 170 с. URL: ratushnyak.vk.vntu.edu.ua/file/Books/f410c4ae983b7bccaf34971045a58dc8.pdf
3. Біогазові установки. Практичний посібник / Б. Едер, Х. Шульц. 2008.
4. Компактні біогазові установки контейнерного виконання, виробництва Польщі, 2016. URL: http://atagos.com.ua/produkt/kompaktnye_biogazovye_ustanovki_v_kontejnernom_ispolnenii_proizvodstvo_polsha/
5. Пат. 124712 Україна, МПК C02F11/04, C02F3/28. Анаеробний біореактор для виробництва біогазу та органічного субстрату / С.О. Карпушин, В.В. Клименко, А.В. Шиндер; заявник і патентовласник – Центральноукраїнський національний технічний університет. – u201709143 заявл. 15.09.2017, опубл. 25.04.2018. Бюл. № 8.
6. Пат. 71256 Україна, МПК E02B 17/02 (2006.01) E02D 5/22(2006.01). Шламний амбар для токсичних відходів буріння та експлуатації нафтогазових свердловин / М.Л. Зоценко, К.А. Тимофєєва; заявник і патентовласник – Полтавський нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. – u201114845 заявл. 14.12.2011, опубл. 10.07.2012. Бюл. № 13.
7. Вагидов М.М. ґрунтоцементные основания и фундаменты / М.М. Вагидов, Н.Л. Зоценко. Вестник Дагестанского государственного технического университета : сборник научн. трудов. Технические науки. Махачкала : ДГТУ, 2012. Вып. 26. С. 94–102.
8. Винников Ю.Л. Будівельні властивості ґрунтоцементу за наявності у його складі органічних речовин / Ю.Л. Винников, О.І. Ярмолюк. Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. 2010. Вып. 56. С. 97–103.
9. Свойства компонентов навоза. URL: <http://myzooplanet.ru/agrohimiya-agropochvovedenie-knigi/svoystva-komponentov-navoza-13927.html>
10. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування: Основи та фундаменти будинків та споруд ДБН В.2.1-10-2009 [Чинні від 01.07.2009]. Київ : Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2009. 79 с. (Державні будівельні норми).

11. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування Зміни 1. Пальові фундаменти: ДБН В.2.1-10-2009 [Чинні від 01.07.2011]. Київ : Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2011. 55 с. (Державні будівельні норми).
12. Пашинський В.А. Методика визначення кліматичних навантажень в заданій географічній точці / В.А. Пашинський, С.О. Карпушин, М.В. Пашинський. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. Вип. 71. С. 68–72.
13. Дмитриева Т.В. Стабилизированные глинистые грунты КМА для дорожного строительства : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». Белгород, 2011. 19 с.
14. Зощенко М.Л. Досвід вирішення геотехнічних проблем при реконструкції будівель і споруд / М.Л. Зощенко, Ю.Л. Винников, П.М. Омельченко, О.В. Суходуб. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2016. Вип. 61. С. 123–129.
15. Конструкции грунтоцементные армированные, правила проектирования. Свод правил СП 291.1325800.2017. [Дата введения 16-11-2017] «Стандартинформ» Москва, Минстрой России, 2017. 41 с. (Росстандарт).

References

1. Derzhavne ahenstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy. URL: <http://saee.gov.ua/uk/bioenergy>.
2. Ratushniak H.S. Enerhozberihaiuchi vidnovliuvalni dzherela teplopostachannia: Navchalnyi posibnyk / Dzhdzhula V.V., Anokhina K.V. Vinnytsia Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2010. 170 s. URL: ratushnyak.vk.vntu.edu.ua/file/Books/f410c4ae983b7bccaf34971045a58dc8.pdf
3. Biohazovi ustanovky. Praktychnyi posibnyk / B. Eder, Kh. Shults, 2008.
4. Kompaktni biohazovi ustanovky konteinerneho vykonannya, vyrobnytstva Polshchi, 2016. URL: http://atagos.com.ua/produkt/kompaktnye_biogazovye_ustanovki_v_kontejnernom_ispolnenii_proizvodstvo_polsha/
5. Pat. 124712 Ukraina. МРК S02F11/04, S02F3/28. Anaerobnyi bioreaktor dlia vyrobnytstva biohazu ta orhanichnoho substratu / S.O. Karpushyn, V.V. Klymenko, A.V. Shynder; zaiavnyk i patentovlasnyk – Tsentralnoukrainskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. – u201709143 zaiavl. 15.09.2017, opubl. 25.04.2018, Biul. № 8.
6. Pat. 71256 Ukraina, МРК E02B 17/02 (2006.01) E02D 5/22(2006.01). Shlamovyi ambar dlia toksychnykh vidkhodiv burinnia ta ekspluatatsii naftohazovykh sverdlovyn / M.L. Zotsenko, K.A. Tymofieieva; zaiavnyk i patentovlasnyk – Poltavskyi nats. tekhn. un-t im. Yurii Kondratiuka. – u201114845 zaiavl. 14.12.2011, opubl. 10.07.2012, Biul. № 13.
7. Vagidov M.M. Gruntocementnye osnovaniya i fundamenti / M.M. Vagidov, N.L. Zocenko. Vestnik Dagestans'kogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: sb. nauchn. trudov. Tekhnicheskije nauki. Makhachkala : DGTU, 2012. Vyp. 26. S. 94–102.
8. Vynnykov Yu.L. Budivelni vlastyvoli hruntotseментu za naiavnosti u yoho skladi orhanichnykh rehovyn / Yu.L. Vynnykov, O.I. Yarmoliuk. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. Seriya: Innovacionnye tekhnologii zhiznennogo cikla ob'ektov zhilishchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya. 2010. Vyp. 56. S. 97–103.
9. Svoystva komponentov navoza. URL: <http://myzooplanet.ru/agrohimiya-agropochvovedenie-knigi/svoystva-komponentov-navoza-13927.html>
10. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia: Osnovy ta fundamenti budynkiv ta sporud DBN V.2.1-10-2009 [Chynni vid 01.07.2009]. K.: Minrehionbud Ukrainy, Derzhavne pidpriemstvo „Ukrarkhbudinform“, 2009. 79 s. (Derzhavni budivelni normy).
11. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia Zminy 1. Palovi fundamenti: DBN V.2.1-10-2009 [Chynni vid 01.07.2011]. K.: Minrehionbud Ukrainy, Derzhavne pidpriemstvo „Ukrarkhbudinform“, 2011. 55 s. (Derzhavni budivelni normy).
12. Pashynskiy V.A. Metodika vyznachennia klimatichnykh navantazhen v zadaniy heohrafichnii tochtsi / V.A. Pashynskiy, S.O. Karpushyn, M.V. Pashynskiy. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. 2018. Vyp. 71. S. 68–72.
13. Dmitrieva T.V. Stabilizirovannye glinistye grunty KMA dlya dorozhnogo stroitel'stva : avtoref. diss. na soiskanie uchynoi stepeni kand-ta tekhn. Nauk : 05.23.05 – Stroitel'nye materialy i izdeliya. Belgorod, 2011. 19 s.
14. Zotsenko M.L. Dosvid vyrishennia heotekhnichnykh problem pry rekonstruktsii budiveli i sporud / M.L. Zotsenko, Yu.L. Vynnykov, P.M. Omelchenko, O.V. Sukhodub. Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. 2016. Vyp. 61. S. 123–129.
15. Konstrukcii gruntocementnye armirovannye, pravila proektirovaniya. Svod pravil SP 291.1325800.2017. [Data vvedeniya 16-11-2017] «Standartinform» Moskva. Minstroy Rossii, 2017. 41 s. (Rosstandart).

METHOD OF DESIGN OF ANAEROBIC BIOREACTOR FROM SOIL CEMENT

Abstract. *Anaerobic bioreactor for the production of biogas and organic substrate is a device that is a closed container, in which biological waste is served, maintained it without air access at a given stable temperature (from +25 to + 55 °C) and mixed.*

As a result of methanogenesis, biogas and an organic substrate are produced and used as fertilizer in agriculture. The raw material for the operation of the bioreactor is biological waste.

The article describes own design of anaerobic bioreactor for biogas and organic substrate production. The main attention is paid to the development of method of designing anaerobic bioreactor by using soil cement as a structural material. The procedure for determining the required volume of bioreactor, depending on the type and amount of organic waste, is given. The factors that influence the solution of the optimization problem such as the choice of the ratio of the diameter of the fermenter and its height are selected and analyzed. The recommendations on taking into account climatic loads are given, taking into account the location of the nearest weather stations, and a structural and logical scheme of bioreactor design is developed.

The possibility of using modified soil cement by the enzyme drug "Dorzyn" in the most optimal amount equal to 0.05% is considered, which should improve the hydration processes, significantly reduce the shrinkage of soil cement, reduce cracks.

The technological sequence of drilling and mixing works on the arrangement of solid monolithic soil cement structure of the bioreactor fermenter has been developed and presented. The non-technological moments of arrangement of the bottom part of the fermenter have been analyzed and the prospects for further researches are presented.

Key words: *borehole, technology, monolithic construction, bioreactor, drilling and mixing operations, fermenter, biological waste, soil, soil cement, cement, reinforcement, climatic parameters, modifier.*

Karpushyn S.O.

Candidate Science (Tech.), Associate Professor,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi

Darienko V.V.

Candidate Science (Tech.), Associate Professor,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi

Kuzyk O.V.

Candidate Science (Tech.), Associate Professor,
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi

Panteleienko V.I.

Candidate Science (Tech.), Associate Professor,
State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", Dnipro

Karpushyn A.S.

Student of the Group BD-25,
Lviv Polytechnic National University, Lviv